

~~VIII 92~~

30-0259/001



Das Brandverhalten von Holzbauteilen

von

K. Kordina

L. Krampf

C. Meyer-Ottens

1971

1. Einführung

Holz ist ein brennbarer Baustoff. Der Brandverlauf beim Holz ist dadurch gekennzeichnet, daß bei Erwärmung eine chemische Zersetzung der Holzsubstanz unter Bildung von Holzkohle und brennbaren Gasen eintritt.

Die Temperaturgrenze, bei der die thermische Zersetzung des Holzes beginnt, kann nicht exakt festgelegt werden, weil die Erwärmungsdauer einen entscheidenden Einfluß besitzt. Spontane Entzündung kleiner Holzproben tritt im Temperaturbereich von $340 - 430^{\circ}\text{C}$ ein. Eine Entzündung des Holzes ist jedoch schon bei wesentlich tieferen Temperaturen möglich, vorausgesetzt, daß eine genügend lange Erwärmung erfolgt. Eingehende Versuche haben gezeigt, daß beginnend mit Temperaturen von 150°C im baupraktischen Bereich bei lang anhaltender Erwärmung eine Entzündung möglich ist [1] und [10] (Bild 1).

Der Brennvorgang des Holzes im Temperaturenbereich unter etwa 300°C ist für die vorliegende Aufgabenstellung uninteressant. Oberhalb dieser Temperaturgrenze wird der Verbrennungsvorgang exotherm, d.h. er läuft unter Energieabgabe. Die Reaktionsgeschwindigkeit steigert sich ständig, auch ohne weitere äußere Energiezufuhr; das gefährlichste Stadium der Brandentstehung und -ausbreitung ist erreicht.

Es bilden sich Gase mit steigendem Gehalt an Kohlenwasserstoffen, deren Heizwert 2000 kcal/m^3 überschreitet. Ist eine Zündflamme vorhanden, kommt es zu einer Entzündung der Gase. Der höchste Anteil brennbarer Kohlenwasserstoffe wird bei Temperaturen um 400°C gebildet, wobei der Heizwert des abgegebenen Gases etwa 4500 kcal/m^3 erreicht. Bei Temperaturen oberhalb 500°C nimmt die Gasbildung stark ab, und es steigert sich dafür die Bildung von Holzkohle. Dies ist der Grund, weswegen Holzbalken, die einem Brande ausgesetzt waren, eine verkohlte Außenzone zu zeigen pflegen. Temperaturen von erheblich mehr als 500°C sind bei wirklichen Bränden ja die Regel.

Die Wärmeleitfähigkeit der Holzkohle beträgt jedoch nur etwa $1/6$ der des Holzes. Die Holzkohleschicht wirkt daher als Isolierung, die thermische Zersetzung des Querschnittsinneren wird erheblich verzögert. Durch diesen natürlichen Schutzeffekt besitzt das Holz eine wesentlich höhere Brandsicherheit als allgemein

angenommen wird; diese Eigenschaft unterscheidet Holz von allen anderen gebräuchlichen Baustoffen. Infolge der vergleichsweise geringen Wärmeleitfähigkeit des Holzes und der schützenden Holzkohleschicht liegt die Temperatur im Querschnittsinnern erheblich niedriger als im Brandraum, so daß etwaige temperaturbedingte Festigkeitsänderungen nur langsam praktische Bedeutung gewinnen.

Weitere entscheidende Bedeutung für das Brandverhalten des Holzes haben Gestalt, Oberflächenbeschaffenheit und Abmessungen der Holzbauteile. Vor allem hängt die Entflammbarkeit vom Verhältnis der Oberfläche zum Volumen ab. Je größer dieses Verhältnis ist, desto leichter tritt die Entzündung ein. Im Grenzwert - Verteilung von Holzstaub in der Luft - ergeben sich explosive Gemische. Klüfte, Fugen und Schwindrisse - bei Vollhölzern häufig anzutreffen - begünstigen den Feuerangriff.

Aus diesen Tatsachen ergeben sich folgende Gesichtspunkte für einen vorbeugenden, baulichen Brandschutz im Ingenieur-Holzbau:

- a) Zunächst ist die Wahl möglichst großer rissefreier Holzquerschnitte anzustreben. Diese Forderung läßt sich jedoch aus wirtschaftlichen Gründen vielfach nicht erfüllen. Viele der modernen Holzkonstruktionen, insbesondere brett-schichtverleimte Bauteile, sind zwar weitgehend rissefrei, doch zeigen sie ein vergleichsweise ungünstiges Verhältnis von Oberfläche zu Volumen.
- b) In diesen Fällen erweist sich der vorbeugende chemische Flamm-schutz als wirtschaftliche Brandschutzmaßnahme. Er spielt mit Recht im modernen Ingenieur-Holzbau eine bedeutsame Rolle und wird stets dort eingesetzt, wo eine Brand-entstehung oder -ausbreitung behindert werden soll.

Die Entwicklung dieser chemischen Flamm-schutzmittel wird in gezielter Form seit etwa 30 Jahren betrieben. Erste Versuche mit Wasserglas-anstrichen befriedigten nicht. Moderne Schutzmittel bestehen aus Dispersio-nen vorwiegend organischer Natur, die meist anstrichartig auf die Holzoberfläche aufgetragen werden. Beim Erhitzen entwickelt sich aus dem Anstrichfilm ein zäher wärme-isolierender Schaum, ferner eine größere Menge Ammoniak und Phosphorsäure. Die Ammoniakgase sind unbrennbar und schützen daher zusätzlich; Phosphorsäure wirkt verkohlungs-fördernd und steigert damit die Selbstschutzwirkung des Holzes.

Schaumschicht, Ammoniakgase und Phosphorsäure behindern jedoch nur die Brandentstehung und -ausbreitung. Bei voll entwickeltem Brand nimmt die Schutzwirkung stark ab und spielt nur noch eine untergeordnete Rolle.

Im Gegensatz hierzu üben Schutzmittel, die im ganzen Querschnitt verteilt sind - z.B. bei vollimprägnierten Spanplatten, wo die einzelnen Späne vor der Plattenherstellung voll-(kern-)imprägniert werden - auch im vollentwickelten Brand eine bedeutende Rolle; vergl. [2] .

Hinsichtlich der Wirkungsdauer schaumschichtbildender Feuerschutzmittel war die Fachwelt zunächst sehr mißtrauisch. Inzwischen liegen Erfahrungen über mehr als ein Jahrzehnt vor, über die vor allem von Storch [3] und Stumpp [4] berichtet wurde. Es ergab sich bei 5 - 10 Jahren alten Holzproben sogar teilweise eine geringe Verbesserung der Schutzwirkung gegenüber frisch behandelten Proben. Dies ist aus geringfügigen, aber günstig wirkenden Änderungen in der chemischen Zusammensetzung zu erklären.

- c) Eine wesentliche Schutzwirkung auf Holzkonstruktionen wird ausgeübt durch Ummantelungen und Verkleidungen, die aus Putzen, besonders aber auch aus Platten, gelegentlich in Verbindung mit losen oder mattenförmigen Dämmstoffen bestehen können.

2. Normung

Nach der derzeit gültigen DIN 4102, Ausgabe Februar 1970, "Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen", sind Bauteile aus Holz oder Holzwerkstoffen grundsätzlich zugelassen für die Feuerwiderstandsklassen F 30 (feuerhemmend) und F 60. Eine Einstufung in die Klasse F 90 (feuerbeständig) kann - obwohl Feuerwiderstandszeiten von mehr als 90 min durchaus möglich sind - nicht erfolgen, da u.a. statisch bedeutsame Teile einer Konstruktion, die F 90 genügen soll, aus Baustoffen der Klasse A (nichtbrennbar) bestehen müssen. (DIN 4102, Bl. 2, 3.3.2.)

In Blatt 4 der Norm sind folgende Konstruktionen angegeben, die ohne besonderen Nachweis den Anforderungen der Feuerwiderstandsklasse F 30 entsprechen:

- 4.1.1. Bauteile aus Beton und Stein mit Putz sowie aus Holz und Stahl mit Putz auf Putzträgern (aus Holzstabgewebe, Holzwolle-Leichtbauplatten nach DIN 1101, Drahtgewebe, Rippenstreckmetall oder Streckmetall), soweit im folgenden nichts anderes bestimmt ist. Der Putz muß mindestens 15 mm dick sein (über Putzträger gemessen), aus Mörtel der Gruppen II oder IV nach DIN 18 550 "Putz; Baustoffe und Ausführung". Wird beim Wandputz Holzstabgewebe als Putzträger verwendet, dann müssen die Holzstäbe waagerecht liegen.
- 4.3.4. Wände aus Holz oder Stahl, beiderseits nach Abschnitt 4.1.1. geputzt,
- 4.3.5. aus Holzwolle-Leichtbauplatten nach DIN 1101 in mindestens 25 mm Dicke herstellt nach DIN 1102 mit Putz nach Abschnitt 4.1.1. auf einem Spritzbewurf. Der Oberputz darf erst aufgebracht werden, nachdem der Spritzbewurf erstarrt ist,
- 4.3.6. aus fugendicht versetzten Holztafeln (auch ohne Putz) nach den Richtlinien für Holzhäuser in Tafelbauart mit beiderseitig mindestens 8 mm dicken Sperrholzplatten nach DIN 68 705 oder mindestens 13 mm dicken Holzspanplatten nach DIN 68 761 oder mindestens 22 mm dicker Holzschalung (gespundet, nicht profiliert) und einer zusätzlich mittig angeordneten, mit der tragenden Konstruktion fest verbundenen, mindestens 50 mm dicken Schicht aus mineralisch gebundenen Holzwolle-Leichtbauplatten nach DIN 1101,
- 4.3.7. aus Holztafeln nach Abschnitt 4.3.6. mit beiderseits mindestens 21 mm dicken Holzspanplatten nach DIN 68 761. Eine Dämmschicht aus nichtbrennbaren Baustoffen oder aus mineralisch gebundenen Holzwolle-Leichtbauplatten nach DIN 1101 darf angeordnet werden,
- 4.3.8. aus Holz, Holzwerkstoffen, Stein oder Stahl, die beidseits mit Gipskarton-Bauplatten F (GKF) nach DIN 18 180 bekleidet und nach DIN 18 181 bei einer Spannweite der Platten ≤ 625 mm errichtet sind, wenn die Plattendicke $\geq 12,5$ mm ist.
- 4.4.10. Holzbalkendecken sowie Holztafeln nach den Richtlinien für Holzhäuser

für Holzhäuser in Tafelbauart mit unterem Putz auf Putzträger nach Abschnitt 4.1.1. und mit nichtbrennbarer Auffüllung oder mit Lehmschlag,

4.4.13. Holzbalkendecken nach DIN 1052 und DIN 104 mit Unterdecken nach den Abschnitten 4.4.12.1. und 4.4.12.2.,

4.5.2. Holzbalken nach DIN 4074 oder nach DIN 1052 verleimt, als Rechteckquerschnitte, ungeschützt und ungestoßen. Querschnitt mindestens 450 cm^2 , Breite mindestens 120 mm, Höhe mindestens 200 mm.

4.6.1. Stützen aus Stahl oder Holz, beide mit Putz auf Putzträger nach Abschnitt 4.1.1.,

4.7.3. Sonstige Holz- und Steintreppen, wenn sie unterseitig nach Abschnitt 4.1.1. geputzt sind. Bei Naturstein muß auch die Wange geputzt werden.

3. Forschung

Die bei der Bundesanstalt für Materialprüfung in Berlin und beim Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Universität Braunschweig durchgeführten Versuche, über die hier berichtet wird, hatten das Ziel, das Verhalten von Holzkonstruktionen unter Gebrauchslast und Brandbeanspruchung genauer zu untersuchen und eine Einstufung gebräuchlicher tragender und raumabschließender Bauteile aus Holz in Feuerwiderstandsklassen nach DIN 4102 zu ermöglichen.

Die hier vorgelegten Versuchsergebnisse zeigen eine große Anzahl gebräuchlicher Querschnitte und Konstruktionen, die in die Feuerwiderstandsklassen "F 30" (feuerhemmend), oder sogar in "F 60" eingestuft werden können. Die Auswahl der Bauteile richtete sich weitgehend nach den heute bevorzugten Ausführungsformen. Der steigenden Bedeutung des Holzleimbaues wurde bei den Stützen und Biegeträgern besonders Rechnung getragen.

Neben der für die Praxis sehr wichtigen Einstufung der Konstruktionen in Feuerwiderstandsklassen haben die Versuche interessante Aussagen über den Brandablauf

erbracht. Es wurde übereinstimmend festgestellt, daß bei einer Feuerbeanspruchung nach der Einheitstemperaturkurve die Abbrandgeschwindigkeit, d.h. die Geschwindigkeit, mit der die Verkohlung von der Oberfläche her nach innen fortschreitet, je nach den örtlichen Gegebenheiten (Querschnittsabmessungen, Holzgüte, Feuchtigkeitsgehalt, Luftzirkulation, usw.) außerhalb von Fugenbereichen etwa 0,04 bis 0,08 cm/min entsprechend etwa 2,4 bis 4,8 cm/h beträgt. Es sind Versuche geplant, um die Abbrandgeschwindigkeit noch genauer zu erforschen. Ziel dieser Untersuchungen ist, ein Bemessungsverfahren zu entwickeln, das es gestattet, die Feuerwiderstandsdauer tragender Bauteile aus Brettschichtholz anhand des "Restquerschnittes" abzuschätzen. Dieser Restquerschnitt muß mit ggf. temperaturbedingt verminderter Festigkeit gerade noch in der Lage sein, die auftretenden Last-Spannungen aufzunehmen. Im Prinzip ist dieses Bemessungsverfahren bereits für Stützen entwickelt worden [5], obwohl die Verhältnisse dort wegen der Abhängigkeit der Knickschlankheiten von den sich ändernden Querschnittsabmessungen etwas komplizierter sind als bei biegebeanspruchten Bauteilen.

4. Stützen

An der Bundesanstalt für Materialprüfung in Berlin wurde in letzter Zeit eine größere Anzahl von belasteten Vollholz- und brettschichtverleimten Holz-Stützen unter Brandangriff nach DIN 4102 geprüft. Über die Ergebnisse haben Seekamp und Stanke [5] berichtet. Außerdem sei hingewiesen auf die umfangreichen britischen Versuche, bei denen die verschiedenen Einflußgrößen auf das Brandverhalten von Stützen aus Brettschichtholz untersucht wurden und über die von Malhotra und Rogowski in [11] berichtet wird.

Bei den Berliner Versuchen wurden zunächst die Verkohlungstiefen (Abbrand) bei allen Stützen sorgfältig gemessen und ausgewertet. Aus dieser Untersuchung wurde für brettschichtverleimte, d.h. weitgehend rissefreie Stützen ein Zusammenhang zwischen dem Abbrand a und der Versuchsdauer t ermittelt, der annähernd linear verläuft zwischen den Grenzen $0,08 t > a > 0,06 t$. Mit Hilfe dieser Zusammenhänge gelingt es, die in einer Holzstütze unter Last auftretenden Spannungen auch rechnerisch während eines Brandversuches zu verfolgen. Es zeigt sich nun, daß der Zusammenbruch einer rissefreien Holzstütze in etwa dann eintritt, wenn die auf den reduzierten Querschnitt bezogene Spannung die Größenordnung der Knickspannung erreicht (Bild 2). Stanke hat hieraus ein Bemessungsverfahren abgeleitet, mit dessen Hilfe jener erforderliche Querschnitt einer Holzstütze ermittelt werden kann, der eine ganz bestimmte Feuerwiderstandsdauer zu erreichen gestattet. Die Ableitung des Verfahrens wird hier aus Literatur [5] übernommen.

4.1. Theoretische Ermittlung der Feuerwiderstandsdauer von mittig belasteten quadratischen Holzstützen

Bei der theoretischen Ermittlung der Feuerwiderstandsdauer von Stützen soll vorausgesetzt werden, daß sich die Materialkennwerte E-Modul und Druckfestigkeit σ_D im unverbrannten Restquerschnitt während des Brandes nicht ändern, da die Wärmebeanspruchung des Restquerschnittes gering ist. Diese Annahme wird durch Brandversuche an ungeschützten brett-schichtverleimten Holzträgern, bei denen in 30 Minuten die Temperaturen in 2 cm Tiefe unter 200°C blieben, bestätigt (vergl. [6]). Die folgende Entwicklung des Verfahrens wird der Einfachheit halber anhand eines quadratischen Querschnittes durchgeführt.

Die Stütze habe die Abmessungen $h \times h \times l$ und trage die Last P . Aus den Beziehungen

$$\sigma = \frac{P}{h^2} \quad \text{und} \quad \lambda = \frac{1}{h} \sqrt{12}$$

erhält man dann

$$\sigma = \frac{P}{12 \cdot l^2} \lambda^2 = C \cdot \lambda^2 \quad (1)$$

Während des Brandes wird der Querschnitt stetig kleiner und damit λ größer, so daß auch σ nach der o.a. Gleichung stetig größer wird. Der Faktor C kann mit den gegebenen konstanten Werten berechnet werden. In Bild 3 ist eine Kurvenschar mit verschiedenen Werten für C im σ/λ -Diagramm dargestellt. Der Anfangszustand einer Stütze mit gegebenem Querschnitt ist durch einen bestimmten, von P und l abhängigen Punkt Z_0 innerhalb einer Kurvenschar gegeben. Eine Spannungssteigerung und eine Vergrößerung des Schlankheitsgrades im Brandfall nach Gleichung (1) kann ohne Knickgefahr nur bis zum Schnittpunkt S der Kurve mit der theoretischen Grenzlinie des Knickbereiches erfolgen. Zu diesem Schnittpunkt S gehören die kritischen Werte σ_{kr} und λ_{kr} . Diese Größen gehen hervor aus der dabei vorhandenen kritischen Kantenlänge h_{kr} :

$$\sigma_{kr} = \frac{P}{h_{kr}^2}, \quad \lambda_{kr} = \frac{1\sqrt{12}}{h_{kr}}$$

Liegt der Schnittpunkt auf der Tetmajer-Geraden, dann gilt

$$\frac{P}{h_{kr}^2} = 300 - 2 \cdot \lambda_{kr} = 300 - 2 \frac{1}{h_{kr}} \sqrt{12}, \text{ d.h.}$$

$$h_{kr} = \frac{\sqrt{12}}{300} \cdot 1 \pm \sqrt{\frac{12}{300^2} \cdot 1^2 + \frac{P}{300}} \quad (2).$$

Liegt der Schnittpunkt auf der Euler-Hyperbel, dann gilt:

$$\frac{P}{h_{kr}^2} = \frac{\pi^2 \cdot E}{\lambda_{kr}^2} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot h_{kr}^2}{12 \cdot 1^2}, \text{ d.h.}$$

$$h_{kr} = \sqrt[4]{\frac{12 \cdot P \cdot 1^2}{\pi^2 \cdot E}} \quad (3).$$

Man erhält also Gleichungen für die kritische Kantenlänge h_{kr} , bei der die Stütze knicken kann. Wegen der Größenordnung der Konstanten ist die kritische Kantenlänge aus diesen Gleichungen umständlich zu berechnen, so daß evtl. ein halbgraphisches Verfahren zur Ermittlung von h_{kr} vorzuziehen ist. Dabei wird der Wert σ_{kr} bzw. λ_{kr} entsprechend der Darstellung in Bild 3 graphisch ermittelt und die kritische Kantenlänge aus der folgenden Gleichung berechnet:

$$h_{kr} = \sqrt{\frac{P}{\sigma_{kr}}} \quad \text{bzw.} \quad (4)$$

$$h_{kr} = \frac{1}{\lambda_{kr}} \sqrt{12} \quad (4a)$$

Mit dieser Größe, die für die weitere Ableitung also als bekannt anzusehen ist, kann mit der ermittelten Abbrandgeschwindigkeit eine Berechnung des Tragverhaltens von Holzstützen unter Feuerangriff ausgeführt werden. Die Stütze habe den Anfangsquerschnitt $h_o \times h_o$. Ihre Länge l bleibt während des Brandes unverändert. Aus $0,08 \text{ t} > a > 0,06 \text{ t}$ erhält man die Grenzwerte (in Minuten)

$$t_K = 12,50 \cdot a_{kr} \quad \text{und} \quad (5)$$

$$t_K = 16,66 \cdot a_{kr} \quad (6)$$

Mit der Beziehung

$$a_{kr} = \frac{1}{2}(h_o - h_{kr}) \quad (\text{cm}) \quad (7)$$

läßt sich die Abhängigkeit der Feuerwiderstandsdauer, d.h. der Zeit bis zum Knicken t_K von der kritischen Kantenlänge h_{kr} angeben. Aus (5) und (7) ergibt sich ihr Mindestwert zu

$$t_K = 6,25(h_o - h_{kr}) \quad (8)$$

und die Bedingungsgleichung für die Zugehörigkeit zur Klasse F 30 bzw. F 60 wird

$$\begin{array}{l} \geq 4,8 \quad (\text{F } 30) \\ h_o - h_{kr} \geq 9,6 \quad (\text{F } 60) \quad (\text{cm}) \end{array} \quad (8a)$$

Soll die Dimensionierung nach brandschutztechnischen Gesichtspunkten erfolgen, muß

$$\begin{array}{l} \geq h_{kr} + 4,8 \quad \text{für F } 30 \\ h_o \geq h_{kr} + 9,6 \quad \text{für F } 60 \end{array}$$

sein.

Beispiel:

Gegeben: Stütze aus verleimten Holzlamellen der Güteklasse I

$$h_o \times h_o = 16 \text{ cm} \times 16 \text{ cm}$$

$$l = 365 \text{ cm}$$

$$P = P_{zul} = 13\,400 \text{ kp}$$

Zunächst berechnet man

$$C = \frac{P}{12 \cdot l^2} = \frac{13\,400}{12 \cdot 365^2} = 0,0084 \text{ (kp/cm}^2\text{)}$$

und erhält mit diesem Wert den Schnittpunkt der Kurve

$$\sigma_{kr} = 92 \text{ (kp/cm}^2\text{)}$$

und $\lambda_{kr} = 104$

Die kritische Kantenlänge wird aus

$$h_{kr} = \sqrt{\frac{P}{\sigma_{kr}}} = \sqrt{\frac{13\,400}{92}} = 12,1 \text{ (cm) \quad oder \quad (4)}$$

$$h_{kr} = \frac{1 \cdot \sqrt{12}}{\lambda_{kr}} = \frac{365 \cdot \sqrt{12}}{104} = 12,1 \text{ (cm) \quad (4a)}$$

berechnet.

Damit ergibt sich die Mindest-Feuerwiderstandsdauer aus (8) zu

$$t_K = 6,25(h_o - h_{kr}) = 6,25(16 - 12,1) \sim 24 \text{ (min)}$$

Ist bei der gleichen Stütze $P = 0,7 \cdot P_{zul}$, so wird

$$C = \frac{P}{12 \cdot l^2} = \frac{0,7 \cdot 13\,400}{12 \cdot 365^2} = 0,0059 \text{ (kp/cm}^2\text{)},$$

und man erhält aus Bild 3 die kritischen Werte

$$\sigma_{kr} = 76 \text{ (kp/cm}^2\text{)}$$

und $\lambda_{kr} = 114$

Mit der kritischen Kantenlänge

$$h_{kr} = \sqrt{\frac{P}{\sigma_{kr}}} = \sqrt{\frac{0,7 \cdot 13\,400}{76}} = 11,1 \text{ (cm)}$$

ergibt sich die Mindest-Feuerwiderstandsdauer zu

$$t_K = 6,25(h_o - h_{kr}) = 6,25(16 - 11,1) \sim 31 \text{ (min)},$$

d.h. eine Verminderung der Belastung führt zu einer längeren Feuerwiderstandsdauer.

Dieses Verfahren läßt sich auch auf Rechteckquerschnitte erweitern, allerdings sind dazu noch weitere Versuche an Rechteckstützen notwendig, da nicht sicher ist, bis zu welchem Seitenverhältnis b/d der Abbrand auf allen Seiten gleich ist. Die vorliegende Methode zur Bestimmung der Feuerwiderstandsdauer für quadratische Querschnitte läßt sich aber auch jetzt schon bei Rechteckquerschnitten anwenden, wenn lediglich die kleinere Kante berücksichtigt wird. Die Ergebnisse liegen dann auf der sicheren Seite. Abschließend sei noch auf das frühzeitige Knicken der gedrunenen Stützen (s. Bild 2) hingewiesen. Diese Unsicherheit im Bereich kleiner λ -Werte wird durch das günstigere Verhalten der großen Querschnitte ausgeglichen, denn der zugehörige Abbrand liegt in allen Fällen zum Teil erheblich unter den Maximalwerten.

Ferner sei noch darauf hingewiesen, daß die in den Bildern 2 und 3 verwendete Linie der Knickspannungen, die die Grundlage der z.Z. noch gültigen DIN 1052 bildet, nicht mehr den heutigen Erkenntnissen entspricht. Der in Vorbereitung befindlichen neuen Normfassung liegen Knickspannungen zugrunde, die die ungewollten Ausmittigkeiten berücksichtigen und unterhalb der bisher verwendeten Werte liegen, so daß die Punkte des Endzustandes auch im Bereich der gedrunenen Stützen oberhalb einer aus diesen neuen Werten gebildeten Grenzkurve liegen.

4.2. Versuchsergebnisse von brettsschichtverleimten Stützen

Die folgende Tafel 1 gibt eine Übersicht über die Ergebnisse der Brandversuche nach DIN 4102 an einteiligen Stützen aus Brettsschichtholz.

4.3. Einteilige Stützen aus Vollholz

Die Ergebnisse der Brandversuche an einteiligen Vollholzstützen lassen keinen eindeutigen Zusammenhang zwischen dem Querschnitt und der Feuerwiderstandsdauer (Zeit bis zum Tragfähigkeitsverlust) erkennen. Der Grund liegt hauptsächlich in dem zufallsbedingten Vorhandensein von Schwindrissen, die das Tragverhalten stark beeinflussen. Aus den Ergebnissen läßt sich daher mit ausreichender Sicherheit nur schließen, daß einteilige Vollholzstützen mit einer Mindestkantenlänge von 24 cm und einem Schlankheitsgrad $\lambda \leq 60$ in die Feuerwiderstandsklasse F 30 eingereiht werden können.

4.4. Mehrteilige Stützen aus Vollholz

Im Gegensatz zu den einteiligen Stützen, deren Feuerwiderstandsdauer hauptsächlich von der Verringerung des tragenden Querschnitts infolge des Abbrandes bestimmt wird, ist die Tragfähigkeit mehrteiliger Stützen unter Feuerbeanspruchung auch von dem Brandverhalten der Verbindungsteile und der Verbindungsmittel abhängig.

Mit dem Ziel, der Praxis eine Zusammenstellung ausreichend feuerwiderstandsfähiger Ausführungen von mehrteiligen Stützen vorzulegen, sollen bei der Bundesanstalt für Materialprüfung in Berlin weitere Versuche durchgeführt werden.

5. Wände

Aufgrund der bauaufsichtlichen Forderungen hinsichtlich der Feuerwiderstandsdauer und der Verwendung brennbarer Baustoffe müssen Wände, auch Wände aus Holz und Holzwerkstoffen, je nach ihrer

Funktion - tragend oder nichttragend, Innenwand oder Außenwand - und ihrem

Einbauort - Trennwand, Wohnungstrennwand, Flurwand, Treppenhauswand usw.

in Abhängigkeit von Geschoßzahl und Brandrisiko bestimmten Brandschutz-Anforderungen entsprechen.

Wände aus Holz und Holzwerkstoffen können bei richtiger Konstruktion eine Vielzahl der gestellten Anforderungen erfüllen.

Wände, die ausschließlich aus Holz oder Holzwerkstoffen bestehen, können zwar eine Feuerwiderstandsdauer von ≥ 90 min erreichen. Wegen der in DIN 4102 Bl. 2, Ausgabe Februar 1970, erhobenen Forderungen, daß

1. die statisch bedeutsamen Teile und
2. eine in Wandebene durchgehende Schicht, die während der Prüfdauer nicht zerstört werden darf

aus Baustoffen der Klassen A 1 oder A 2 bestehen müssen, dürfen sie aber nur in die Feuerwiderstandsklassen F 30 - F 60 eingestuft werden. In Kombination mit nichtbrennbaren Baustoffen (Klassen A 1 oder A 2) ist es jedoch möglich, Wände der Feuerwiderstandsklasse F 90 unter Mitverwendung von Holz oder Holzwerkstoffen herzustellen.

Im vorliegenden Abschnitt wird versucht, die in den letzten Jahren gewonnenen Erfahrungen mit tragenden und nichttragenden, z.T. versetzbaren, leichten Trennwänden überwiegend aus Holz und Holzwerkstoffen unter Feuerangriff zusammenzustellen und einen Überblick über den derzeitigen Stand unseres Wissens zu geben.

Die Feuerwiderstandsdauer der Wände ist abhängig von

1. dem gewählten Bemessungsverfahren und der Spannungsausnutzung bei tragenden Wänden,
2. den Baustoffen und der Konstruktion von Rahmen, Verkleidungen, Dämmschichten mit Fugen und Anschlüssen.

5.1. Bemessungsverfahren

5.1.1. Vereinfachte Bemessung nach DIN 1052

Beim vereinfachten Bemessungsverfahren werden die lotrechten Kräfte rech-

nerisch allein durch die Stiele aufgenommen. Die angesetzte Querschnittsfläche F wird erst dann durch Abbrand verändert, wenn die dem Feuer zugekehrte Wandverkleidung verbrannt oder abgefallen ist. Kennt man die Durchbrandszeit der Verkleidung (s. Bild 4), so kann die Tragfähigkeitszeit der Stiele nach 4.1. bestimmt werden; jedoch kann für das Brandverhalten der Wand auch der Durchbrand, das Auftreten brennbarer Gase oder das Überschreiten der zulässigen Temperaturerhöhung auf der dem Feuer abgekehrten Seite maßgebend sein.

5.1.2. Bemessung nach den Richtlinien für Holzhäuser in Tafelbauart (Ergänzung zu DIN 1052)

Erfolgt die Bemessung nach den Richtlinien für Holzhäuser in Tafelbauart, so wird die Verkleidung ^{zur Aufnahme} der lotrechten Kräfte mit herangezogen. Die rechnerisch zulässige Belastung einer Wand wird bei dieser Berechnungsmethode mit der angesetzten Querschnittsfläche F_i und den zugehörigen Steifigkeitswerten erheblich größer als bei Bemessung nach dem vereinfachten Verfahren.

Die Querschnittsfläche F_i wird im Gegensatz zur Querschnittsfläche F durch Abbrand bereits dann vermindert, wenn die Verkleidung entflammt. Mit der Zerstörung der Verkleidung durch Feuer erfährt die mit F_i berechnete Wand außerdem eine beachtliche ausmittige Beanspruchung, die zum vorzeitigen Ausknicken führen kann.

Es ist evident, daß die Feuerwiderstandsfähigkeit tragender Holztafelwände durch Spannungsabminderung verbessert werden kann (vergl. Tafel 2, Nr. 8).

5.2. Baustoffe und Konstruktion

Für das Brandverhalten nichttragender Wände und auch tragender Wände, sofern nicht die Tragfähigkeit ausschlaggebend ist, sind u.a. die Kriterien

Durchbrand,
Auftreten brennbarer Gase und
Überschreitung der zulässigen Temperaturerhöhung

auf der dem Feuer abgekehrten Wandseite wichtig. Sie werden durch die Wahl der Baustoffe und die Art der Konstruktion beeinflusst.

5.2.1. Wandrahmen

Die in der Praxis üblichen Holz-Fachwerkrahmen werden vorwiegend für feste, nicht versetzbare Wände verwendet. Hier haben sich Rahmen mit Rastermaßen von 1,00 bis in der Regel 1,50 m Breite bei Stielabständen von rd. 50 bis 75 cm, oft 62,5 cm, feuertechnisch gut bewährt. Sie Stielquerschnitte betragen etwa 40x80 bis 60x100 mm². Sie sind am Fuß- und Kopfpunkt durch Schwellen und Rähme ähnlicher Abmessungen, z.T. auch noch durch Riegel - je nach Wandhöhe - ausgesteift.

Die Holz-Fachwerkrahmen erhalten im allgemeinen beidseitig eine Beplankung aus Holzspanplatten, Sperrholzplatten oder anderen Bauplatten; auch eine Verkleidung mit Nut- und Feder-Schalung ist möglich.

Einzelheiten über die Feuerwiderstandsdauer solcher Rahmen in Verbindung mit beiderseitiger Beplankung sind in Abhängigkeit vom Bemessungsverfahren in Tafel 2 wiedergegeben.

Fachwerkrahmen aus anderen Baustoffen finden meist bei versetzbaren - d.h. "mobilen" oder montierbaren - leichten Trennwänden Verwendung. Die Rahmen können z.B. aus Metallprofilen oder aus aufeinandergenagelten Bauplatten bestehen, wobei vorwiegend Asbestzementplatten oder Gipskartonbauplatten verwendet werden.

Die Feuerwiderstandsdauer einer Wand bei Verwendung von Metallprofilen ist in erster Linie abhängig von der Güte der Fugen in unmittelbarer Nähe der Profile und vom Wärmedurchgang an diesen Fugen (Wärmebrücken). Sind die Metallprofilen nicht besonders geschützt, so versagt die Konstruktion im allgemeinen durch Überschreiten der zulässigen Temperaturerhöhung auf der dem Feuer abgekehrten Seite. Die Feuerwiderstandsdauer ist entsprechend gering. Beispiele für das Verhalten von Metall-Rahmenkonstruktionen bzw. -Stielen zeigt Tafel 3.

Werden anstelle der Metallprofile Rahmen aus aufeinandergenagelten oder auch miteinander verklebten Bauplatten verwendet, so können je nach Ausführung im allgemeinen höhere Feuerwiderstandszeiten erwartet werden, siehe Tafel 3, Nr. 3. Beispiele für Konstruktionen mit Rahmen aus Gipskartonbauplatten können [7] entnommen werden.

Die hier erwähnten Fachwerkrahmen aus Metall oder Bauplatten können in der Regel nicht verallgemeinernd beurteilt werden, da es sich meist um Sonderkonstruktionen handelt und die Feuerwiderstandsdauer auch im Zusammenhang mit der Fugenkonstruktion gesehen werden muß.

5.2.2. Verkleidungen

Für die Beurteilung des Brandverhaltens einer Wand ist es wichtig, die Durchbrandzeit von Bauplatten bei Feuerangriff nach DIN 4102 zu kennen.

Bild 4 zeigt die Versagenszeiten von verschiedenen unbehandelten Holzbauplatten in Abhängigkeit von der Plattendicke bei Feuerangriff nach DIN 4102 Blatt 2.

Die obere Begrenzungslinie des gezeigten Streubereiches gibt annähernd den ersten Durchbrand an einzelnen Stellen wieder. Die untere Begrenzungslinie bedeutet praktisch die völlige Zerstörung, d.h. das Abfallen einzelner Plattenteile der Verkleidung. Der zeitliche Ablauf vom ersten Durchbrand bis zur völligen Zerstörung erfolgt im Feldbereich nicht immer kontinuierlich, was zum Beispiel auch von der Spannweite der Platten abhängt. Im Bereich der Fachwerkrahmen, wo die Bauplatten durch Nägel, Schrauben oder andere Verbindungsmittel gehalten sind, bleiben noch Plattenreste haften. Sie schützen mit ihrer Kohleschicht noch die Fachwerkrahmen und fallen erst bei vollständiger Zersetzung ab.

Wählt man als beidseitige Verkleidung eines Holz-Fachwerkrahmens jeweils eine 16 mm dicke Holzspanplatte nach DIN 68 761 mit einem Raumgewicht von $\geq 650 \text{ kp/m}^3$, so wird wenigstens eine Feuerwiderstandsdauer von 30 Minuten erzielt; dies zeigen sowohl Bild 4 als auch die Konstruktionen 1 bis 3 in Tafel 2.

Zur Verbesserung der Feuerwiderstandsdauer und zur Schaffung einer durchgehenden Schicht aus nichtbrennbarem Baustoff werden auch bei Holz- und Holzwerkstoffwänden Bauplatten der Baustoffklasse A verwendet, siehe zum Beispiel Tafel 3, Nr. 3 und Bild 7. Es kommen vorwiegend Asbestzementplatten nach DIN 274 für Außenverkleidungen von Außenwänden, Gipskartonbauplatten F

(GKF) nach DIN 18 180 für Innenverkleidungen und Spezial-Asbestzementplatten mit niedrigem Raumgewicht als Innenverkleidung oder als Dämmschicht zum Einsatz.

Diese Spezial-Platten sind im Gegensatz zu normalen Asbestzement- und Gipskartonbauplatten nicht genormt. Die Platten werden hauptsächlich in Sonderkonstruktionen verwendet.

Das Brandverhalten der genannten Platten wird auch in [2] und [7] beschrieben.

Die Befestigungen der Verkleidungen an den Holzrahmen erfolgen meistens mit Nägeln. Bei versetzbaren leichten Trennwänden kann die Befestigung auch mit L-, I- oder U-förmigen Stahl-Sonderprofilen erfolgen, oder es werden Klemmbleche mit Sonderprofilen verwendet.

5.2.3. Dämmschichten

Die Feuerwiderstandsdauer einer Wand kann durch die Anordnung von schwerentflammbaren oder nichtbrennbaren Dämmschichten (Baustoffklassen B 1 oder besser A) erheblich vergrößert werden. Es können zum Beispiel verwendet werden:

1. Holzwolleleichtbauplatten nach DIN 1101, ≥ 25 mm dick, Baustoffklasse B 1, Konstruktionsbeispiel siehe Tafel 2, Nr. 10,
2. Spezial-Asbestzementplatten, wie in Abschnitt 4.3.2. beschrieben, ≥ 10 mm dick, Baustoffklasse A, Konstruktionsbeispiel siehe Tafel 3, Nr. 3,
3. Mineralfasermatten auf Drahtgeflecht gesteppt oder Mineralfaserplatten, jeweils Baustoffklasse B 1 oder besser A, ≥ 30 mm dick, Konstruktionsbeispiel siehe Tafel 2 und 3.

Werden Dämmschichten gestoßen, so sind die Fugen möglichst dicht zu halten; besser ist, Fugen zu vermeiden oder 2 Dämmschichten mit versetzten Stößen anzuordnen, siehe z.B. Tafel 2, Nr. 4 und 5.

Maßgebend für die Verlängerung der Feuerwiderstandsdauer ist nicht allein die Wahl der Dämmschicht - Dicke und Art (normalentflammbar, schwerentflammbar oder nichtbrennbar) -, sondern auch die Befestigung der Dämmschicht am Fachwerkrahmen. Die in Bild 5 gezeigten Befestigungen haben sich hier gut bewährt:

1. Halterung durch angenagelte Leisten, die gleichzeitig die Stiele vor dreiseitigem Feuerangriff schützen, wenn die dem Feuer zugekehrte Verkleidung zerstört ist, und
2. Annageln oder Anleimen der Dämmschicht an den Stielen. Im letzteren Fall muß der Leim eine gute Widerstandsfähigkeit gegen Feuerangriff besitzen.
3. Eine gute Befestigungsmethode ist auch das Aufhängen von Mineralfasermatten mit Maschendrahtgeflecht, so daß ein Herausfallen, Einknicken oder Abwölben vermieden wird (siehe Tafel 3, Nr. 3).

5.2.4. Fugen und Anschlüsse

Bei nicht versetzbaren Wänden werden die verkleideten Rahmen (Tafeln) in der Regel dicht aneinandergestellt und durch Dollen, Federn oder ähnliche Mittel verbunden, siehe Bild 6. Die hier im Beispiel 1 und 2 dargestellten Federn laufen über die gesamte Tafelhöhe durch; die Verkleidung kann dann an derselben Stelle gestoßen werden. Erfolgt die Verbindung nur über Dollen, müssen die Verkleidungen versetzt gestoßen werden, siehe Beispiel 3.

Bei so aneinandergestellten Rahmen oder Stielen erfolgt der erste Durchbrand oder das Auftreten brennbarer Gase im Feldbereich und nicht an der Fugenkonstruktion. Die in Bild 4 gezeigten Konstruktionen besaßen alle eine Feuerwiderstandsdauer von > 60 Minuten.

Liegen die Fugen nicht im Bereich von Rahmen- oder Stielstößen, sondern ausnahmsweise in der Verkleidung selbst im Feld, dann erfolgt der Durchbrand im allgemeinen an der Fugenstelle. Hierbei spielen die Verkleidung (Material, Raumgewicht, Dicke), die Fugen- und Federausbildung, die Verleimung und gegebenenfalls die Imprägnierung der Verkleidung eine Rolle.

Nicht versetzbare Wände für Holzhäuser in Tafelbauart grenzen an der Wandoberseite in der Regel an ein Rähm oder einen Balken und an der Unterseite an Schwellen. Die an diesen Stellen praxisüblichen dichten Verbindungen mit Schrauben, Bolzen oder Nägeln haben sich in feuertechnischer Hinsicht alle gut bewährt. Wird nur genagelt, so sind Nägel, beidseitig im Abstand von je 50 cm angeordnet, ausreichend, selbst wenn sie nur als Stichnägeln schräg eingeschlagen werden. In der Praxis werden häufig auch Nut- und Feder-Verbindungen neben der Nagelung ausgeführt.

Bei den Fugen und Anschlüssen versetzbarer leichter Trennwände handelt es sich in der Regel um Sonderkonstruktionen. Allgemeine Beurteilungen können hier kaum abgegeben werden. Als Beispiele mögen die auf Tafel 3 dargestellten Lösungen dienen. Weitere Lösungsmöglichkeiten können Literatur [8] entnommen werden.

5.3. Belüftete Wände

Das einzige Beispiel einer belüfteten Wand ist in Bild 7 wiedergegeben. Die dargestellte Konstruktion kann mit großer Sicherheit der Feuerwiderstandsklasse F 30 zugeordnet werden. Sie ist ein sehr gutes Beispiel für eine belüftete Wand, die sich aus folgenden Verkleidungsschichten zusammensetzt:

1. innere Verkleidung,
2. äußere Verkleidung,
3. vorgesetzte Verkleidung mit Hinterlüftung.

Konstruktionen, bei denen die vorgesetzte Verkleidung eingespart werden soll und bei denen die Belüftung zwischen innerer und äußerer Verkleidung erfolgt, haben sich brandschutztechnisch nicht bewährt, da durch die Belüftung brennbare Gase austreten, die sich vor der 30-Minuten-Grenze von selbst entzünden. Die Konstruktion in Bild 7 ist durch die Anordnung der äußeren Verkleidung dagegen so dicht und geschützt, daß brennbare Gase bei Zerstörung der inneren Verkleidung nicht austreten können.

Die vorgesetzte Verkleidung kann leicht und aus schwerentflammbaren oder nichtbrennbaren Stoffen konstruiert werden, s. Bild 7.

6. Träger

Über erste systematische Untersuchungen zum Brandverhalten von überwiegend auf Biegung beanspruchten Holzbauteilen wird in [6] berichtet. Ausgehend von den dort beschriebenen Ergebnissen untersuchte das Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Universität Braunschweig, inwieweit sich eine Verringerung der rechnerischen Biegeandspannung von 130 kp/cm^2 auf 110 bzw. 100 kp/cm^2 sowie nur eine dreiseitige Brandbeanspruchung auf die erforderlichen Mindestabmessungen von Holzbalken für bestimmte Feuerwiderstandsklassen auswirkt. Außerdem wurde untersucht, welchen Einfluß eine Verkleidung mit Gipskartonplatten auf das Brandverhalten derartiger Bauteile hat.

6.1. Balken aus Vollholz ohne Verkleidung

Untersucht wurden Balken aus Nadelholz der Güteklasse II nach DIN 4074 bei einer rechnerischen Biegeandspannung von 100 kp/cm^2 und dreiseitiger Feuerbeanspruchung.

Es zeigte sich, daß die Ästigkeit des Holzes und Schwindrisse relativ großen Einfluß auf die Feuerwiderstandsfähigkeit biegebeanspruchter Holzbauteile hatten. Aufgrund der Versuchsergebnisse darf jedoch angenommen werden, daß bei dreiseitiger Beflammung eine Verringerung der Querschnittsabmessungen auf 400 cm^2 möglich ist, um mit ausreichender Sicherheit die Feuerwiderstandsklasse F 30 zu erreichen.

Unter bestimmten Voraussetzungen kann dieses Ziel sogar mit nur 350 cm^2 Querschnittsfläche erreicht werden, und zwar dann, wenn für die Ästigkeit ein Verhältniswert von rd. 0,5 nach Tabelle 2, Abschnitt 7.21., DIN 4074, Blatt 1, nicht überschritten wird. Sicherlich spielt hierbei auch die Größe der einzelnen Astdurchmesser eine nicht zu vernachlässigende Rolle.

Da in dieser Richtung noch keine genauen Untersuchungen durchgeführt werden konnten, sind diese Querschnittsabmessungen nur in wenigen Einzelfällen anwendbar.

6.2. Balken aus Vollholz mit Gipskartonplatten-Ummantelung

Als Ummantelung wurden für diese Versuchsreihe Gipskartonbauplatten F (GKF) nach DIN 18 180 verwendet. Die Befestigung (Nagelung) erfolgte in Anlehnung an DIN 18 181 "Gipskartonplatten im Hochbau; Richtlinien für die Verarbeitung". Die Balken bestanden aus Nadelholz der Güteklasse II und wurden unter einer rechnerischen Biegeandspannung von 100 kp/cm^2 geprüft.

Obwohl sich gerade bei dieser Versuchsreihe die unterschiedliche Holzqualität in den erzielten Feuerwiderstandszeiten sehr stark bemerkbar machte und eine Verallgemeinerung der Versuchsergebnisse in größerem Rahmen daher nicht angezeigt ist, können doch schon für die praktische Anwendung brauchbare Schlüsse gezogen werden.

1. Die Verklebung mit den Holzbalken ist nicht als optimale Befestigungsart für die Gipskartonplatten anzusehen, da die Wärmebeständigkeit der Klebefuge entscheidend für die Dauer der Schutzwirkung ist. Auch bei wärmebeständigen Klebemitteln wird die Haftung spätestens dann aufgehoben, wenn am rückseitigen Karton rd. 300°C erreicht werden und dieser dann verascht.
2. Zum Schutz der Fuge zwischen Balken und unterer Verkleidung sollte die untere Gipskartonplatte zwischen die seitlichen Platten, die entsprechend weit heruntergeführt werden müssen, eingefügt werden.
3. Vor der Ummantelung mit Gipskartonplatten sind die Balken so weit zu trocknen, daß später keine größeren Schwindverformungen auftreten können, die zu Spannungen in dem Ummantelungsmaterial und damit zu einem vorzeitigen Herabfallen führen.
4. Balken aus Vollholz mit 450 cm^2 Querschnittsfläche (F 30) und einer 12,5 mm dicken Ummantelung aus Gipskarton-Bauplatten F nach DIN 18 180 können in die Feuerwiderstandsklasse F 60 eingereiht werden.

6.3. Brettschichtverleimte Binder mit Rechteckquerschnitt

Untersucht wurden Binder aus Nadelholz der Güteklasse II nach DIN 4074 bei einer rechnerischen Biegerandspannung von 110 kp/cm^2 . Es wurden Resorcin- und Harnstoffharzleime verwendet, die jedoch keine wesentlichen Unterschiede im Brandverhalten zeigten.

In den folgenden Tafeln 4 und 5 werden die wesentlichsten Ergebnisse der Brandversuche nach DIN 4102 an statisch bestimmt gelagerten brettschichtverleimten Bindern mit Rechteckquerschnitt mitgeteilt.

Aufgrund der vorliegenden Versuchserfahrungen können in Tafel 6 Mindestabmessungen von Rechteckbalken für bestimmte Feuerwiderstandsklassen gegeben werden.

Diese Angaben bewegen sich auf der sicheren Seite und werden nach Abschluß der noch geplanten Untersuchungen z.T. herabgesetzt werden können.

Sofern keine ausreichende Queraussteifung vorhanden ist, die auch während der geforderten Feuerwiderstandszeit ihre Wirkung beibehält, sollte das Seitenverhältnis h/b den Wert 3 nicht überschreiten. Bei schlankeren Balken besteht die Gefahr des Kippens, da der Abbrand die Seitensteifigkeit relativ schneller vermindert als bei gedrungenen Querschnitten.

6.4. Brettschichtverleimte Binder mit zusammengesetzten Querschnitten

Für die Binder wurde Nadelholz der Güteklasse II verwendet. Die rechnerische Biegerandspannung betrug während der Versuche 110 bzw. 100 kp/cm^2 .

Eine Übertragung der in Tafel 7 zusammengestellten Ergebnisse auf andere Querschnittsformen oder -abmessungen ist zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht möglich, da bei diesen Querschnitten mit einem schubbruchartigen Versagen gerechnet werden muß und dazu kaum Ergebnisse vorliegen.

Aus dem Versuch mit untergurtverbreitertem Querschnitt kann die Schluß-

folgerung gezogen werden, daß sich eine solche Maßnahme nur dann auf die Feuerwiderstandsdauer positiv auswirkt, wenn entsprechende, zusätzliche Holzquerschnitte rechnerisch nicht herangezogen, sondern als reine Schutzschicht betrachtet werden.

6.5. Ausblick

Es ist geplant, das Verhalten von drei- und vierseitig der Beflammung ausgesetzten biegebeanspruchten Holzbindern eingehender zu untersuchen mit dem Ziel, der Praxis ein Verfahren zur theoretischen Ermittlung der Feuerwiderstandsdauer von gegebenen Trägerquerschnitten vorzulegen. Die in [11] und 12 veröffentlichten britischen, schwedischen und norwegischen Untersuchungsergebnisse werden, den deutschen Verhältnissen angepaßt, mitverwendet werden können.

7. Deckenkonstruktionen

7.1. Holzbalkendecken

Holzbalkendecken bestehen in der Regel aus Holzbalken, Hobeldielen (Fußboden), einem Dämmschichtträger - Einschubboden oder Holzwolle-Leichtbauplatten nach DIN 1101 -, einer Dämmschicht aus Lehmschlag und (geglühtem) Sand sowie einer Verkleidung, die die Decke an der Unterseite eben abschließt. Solche Decken werden nach DIN 104 bzw. 1052 berechnet. Sie versagen bei Brandbeanspruchung nach DIN 4102 im allgemeinen infolge Durchbrand oder Auftreten brennbarer Gase im Bereich der Hobeldielen nach vorangegangenen Einsturz von Dämmschicht und Dämmschichtträger. Nach welcher Beanspruchungszeit der Dämmschichtträger versagt, hängt von seiner eigenen Feuerwiderstandsdauer und vom Feuerwiderstand der Deckenverkleidung an der Deckenunterseite ab.

Rohdecken alter Bauart ohne untere Deckenverkleidung besitzen je nach Dicke, Güte und Spannweite des Dämmschichtträgers eine Feuerwiderstandsdauer von 13 bis maximal 40 Minuten, wie in [9] nachgewiesen werden konnte. Damit erfüllt eine Holzbalken-Rohdecke alter Bauart im allgemeinen nicht die Anforderungen, wie sie an Decken der Feuerwiderstandsklasse F 30 gestellt werden. Es lag somit nahe, die in der Regel notwendige ebene Decken-

verkleidung an der Unterseite so auszubilden, daß möglichst hohe Feuerwiderstandszeiten erreicht werden.

Zum Studium der Feuerwiderstandsdauer solcher Decken untersuchte das Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Universität Braunschweig eine Vielzahl von einachsigen gespannten, statisch bestimmt gelagerten Holzbalkendecken mit Unterdecken auf Brandverhalten nach DIN 4102, siehe [9] und [2]. Die Konstruktionsbeispiele 1 bis 4 der Tafel 8 und die ermittelten Feuerwiderstandszeiten sind diesen Arbeiten entnommen.

7.1.1. Holzbalkendecke mit Unterdecke aus Putz auf Holzwolle-Leichtbauplatten

Konstruktionsbeispiel 1 zeigt eine Holzbalkendecke mit Unterdecke aus Putz auf brennbarem Putzträger. Die Unterdecke selbst besitzt nach [2] normalerweise eine Durchbrandzeit von 30 - 35 Min., weshalb die Gesamtkonstruktion "Holzbalkendecke + Unterdecke" eine Feuerwiderstandsdauer von etwa 45 bis 55 Minuten erreicht. In einem Einzelfall wurde sogar eine Feuerwiderstandsdauer von 65 Minuten erzielt (siehe [9]). Aufgrund dieser Erfahrungen wurde Abschnitt 4.1.1. in DIN 4102 Blatt 4, Ausgabe 1970, formuliert, wonach Holzbalkendecken mit Unterdecken aus Putz auf Putzträger grundsätzlich in die Feuerwiderstandsklasse F 30 eingereiht werden. Als Putzträger können Holzstabgewebe, Holzwolle-Leichtbauplatten nach DIN 1101, Drahtgewebe, Ziegeldrahtgewebe, Streckmetall oder Rippenstreckmetall verwendet werden. Der Putz muß, über Putzträger gemessen, 15 mm dick sein und aus Mörtel der Gruppen II oder IV nach DIN 18 550 bestehen.

Die Anbringung der Putzträger sollte den Angaben der Hersteller entsprechen, wobei nach vorliegenden Erfahrungen - siehe [2] - die Spannweite 900 mm nicht überschreiten sollte.

7.1.2. Holzbalkendecke mit Unterdecke aus Gipskartonplatten

Konstruktionsbeispiel 2 zeigt eine moderne Ausführungsart einer Holzbalkendecke mit Unterdecke aus Gipskartonplatten F (GKF) unter brennbarer Be-

festigungskonstruktion (Holzlatten). Bei einer Dicke der GKF-Platten $d = 12,5$ cm und einer Stützweite von $a \leq 40$ cm ist der Zusammenbruch der Unterdecke nach etwa 25 - 30 min Versuchsdauer zu erwarten und das Versagen der Gesamtkonstruktion - Durchbrand in den Fugen - nach etwa 40 - 45 min.

7.1.3. Holzbalkendecke mit Unterdecke aus Holzspanplatten

Im Konstruktionsbeispiel 3 ist eine Form von im Fertighausbau verwendeten Deckenelementen dargestellt, bei der die Unterdecke aus brennbarem Material (Holzspanplatten) besteht. Das linke Detail stellt die Fuge zwischen zwei Elementen dar, bei der der Durchbrand mittels zweier Federn verzögert wird. Um Verwerfungen der tragenden Balken zu verhindern und damit die Fugenbreite möglichst gering zu halten, sind jeweils zwei Bohlen zu einem Balken verleimt. Bei dem vorliegenden Deckenaufbau trat der Zusammenbruch der unteren Holzspanplatten nach 17 bzw. 18 min ein, und die Gesamtkonstruktion versagte nach 35 bzw. 40 min infolge Durchbrandes.

7.1.4. Holzbalkendecke mit mehr als 90 min Feuerwiderstandsdauer

Konstruktionsbeispiel 4 zeigt eine Holzbalkendecke alter Bauart mit geputzter Unterdecke auf nichtbrennbarem Putzträger (Rippenstreckmetall). Da die Befestigung der Unterdecke (Abhängedraht) nur geringe Wärmebrücken bildet, erreicht die Deckenkonstruktion Feuerwiderstandszeiten von mehr als 90 min; sie darf jedoch nach den z.Z. gültigen Bestimmungen nur in die Feuerwiderstandsklasse F 60 eingestuft werden.

7.2. Deckenschalungen

Im Hallen- und Industriebau sowie in der Landwirtschaft werden Decken und Dächer oft ohne Unterdecke gewünscht, weshalb die Binder, Träger und Pfetten einerseits und die Deckenschalung andererseits bestimmten Feuerwiderstandsklassen angehören müssen. Über das Verhalten von Deckenschalungen

aus Holz geben die folgenden Konstruktionsbeispiele der Tafel 9 Auskunft.

Die Konstruktionsbeispiele unterscheiden sich im wesentlichen hinsichtlich der Schalungsdicke und der Fugenbreite, die in der Praxis durch verschieden starke Austrocknung nach dem Verlegen bedingt ist. Es wurden zwei statische Systeme - Einfeldschalung und durchlaufende Schalung - untersucht, die bei verschiedener Spannweite bzw. Belastung so bemessen waren, daß entweder die nach DIN 1052 zulässige Spannung oder die maximale Durchbiegung von $l/200$ nicht überschritten wurde. Es zeigte sich, daß die Feuerwiderstandsdauer bei diesen Systemen in erster Linie von der gewollten oder ungewollten Fugenbreite abhing - es erfolgte nämlich immer Durchbrand oder Auftreten brennbarer Gase im Fugenbereich. Der Einfluß des statischen Systems, der Spannung oder der Durchbiegung waren dagegen in allen Fällen sekundär.

Wegen des Durchbrandes im Fugenbereich können die untersuchten Konstruktionen trotz unterschiedlicher Dicken jeweils nur in die Feuerwiderstandsklasse F 30 nach DIN 4102 eingestuft werden. Voraussetzung hierfür ist die fugendichte Verlegung getrockneter Schalung.

Literaturangaben:

- [1] - Jach, W.:
Das Verhalten von Holz und Holzwerkstoffen bei Dauereinwirkung
von Temperaturen unterhalb des Flammpunktes"
Berichtsheft 56/1969 der Deutschen Gesellschaft für Holzforschung
E.V., München.
- [2] - Meyer-Ottens, C.:
"Brandschutz im Stahlbau, Teil I Unterdecken",
Stahlbau-Verlags-GmbH, Köln, 1968.
- [3] - Storch, K.:
"Die Wirkung dauerschaumschichtbildender Feuerschutzmittel",
Holzzentralblatt 1968.
- [4] - Stumpp, K.:
"Was leisten die chemischen Feuerschutzmittel?"
Holzzentralblatt 1967.
- [5] - Seekamp, H., Stanke, J.:
"Tragverhalten von belasteten Holzstützen",
Bauen mit Holz, 1969, Heft 5.
- [6] - Dorn, H., Egner, K.:
"Brandversuche an brettschichtverleimten Holzträgern unter Biege-
beanspruchung",
Holz als Roh- und Werkstoff, Heft 8/1967, Springer-Verlag, Berlin.
- [7] - Meyer-Ottens, C.:
"Brandverhalten verschiedener Bauplatten aus Baustoffen der
Klassen A und B, insbesondere aus Baustoffen der Klasse A 2",
a) Die Bauwirtschaft, 1969, Heft 6-8,
b) Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen
Universität Braunschweig, 1969, Heft 12.

- [8] - Meyer-Ottens, C.:
"Wände aus Holz und Holzwerkstoffen unter Feuerangriff",
a) Mitteilungsheft 56/1969 der Deutschen Gesellschaft für Holzforschung E.V., München,
b) Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Universität Braunschweig, 1970, Heft 14.
- [9] - Kristen, Th., Kordina, K.:
"Brandversuche an Holzbalkendecken",
Berichte aus der Bauforschung, Heft 38 (Baulicher Brandschutz),
W. Ernst & Sohn, Berlin, 1964.
- [10] - Kollmann, F.:
"Verhalten von Holz und Holzbauwerken im Feuer",
Holzzentralblatt Nr. 64/65, 1966.
- [11] - "Fire and Structural Use of Timber in Buildings",
Symposium Nr. 3, Ministry of Technology and Fire Offices'
Committee, Joint Fire Research Organization,
London 1970.
- [12] - Imaizumi, Katsuyoshi:
"Stability in fire of protected and unprotected glued
laminated beams",
Norsk Treteknisk Institutt, Meddelelse nr. 18,
Blindern, Mai 1962.

A n h a n g

Herkunftsnachweis von Decken- und Wandkonstruktionen

Tafel 3, Nr. 1: Grönzweig & Hartmann AG
 Ludwigshafen
 (geschützte Konstruktion)

" Nr. 2: Deutsche Novopan GmbH & Co.,
 Göttingen

" Nr. 3: Chr. Holzäpfel KG
 Ebhausen/Württ.

Tafel 8, Nr. 2: Rigips-Vertriebs-GmbH
 Bodenwerder

" Nr. 3: OKAL-Werk Niedersachsen
 Otto Kreibaum KG
 Lauenstein/Hann.
 (geschützte Konstruktion)





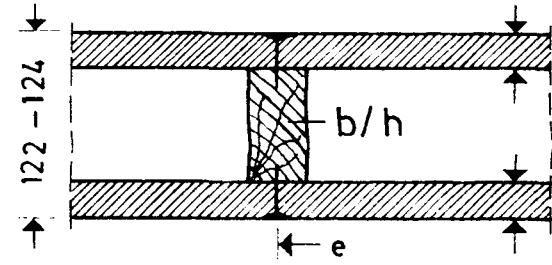
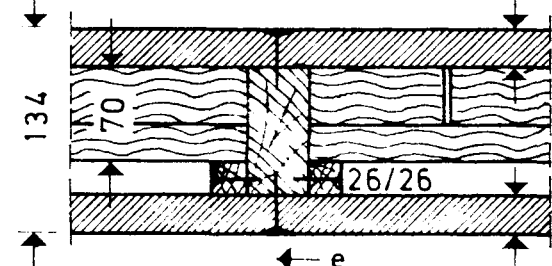
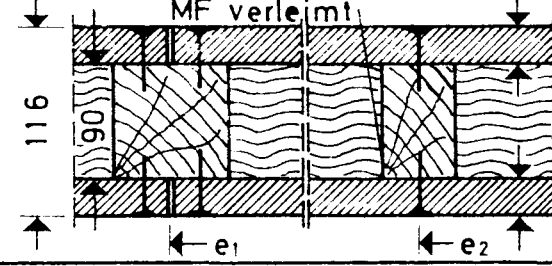
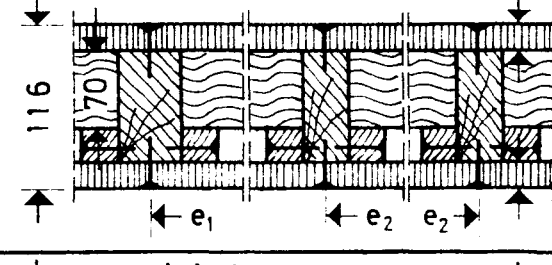
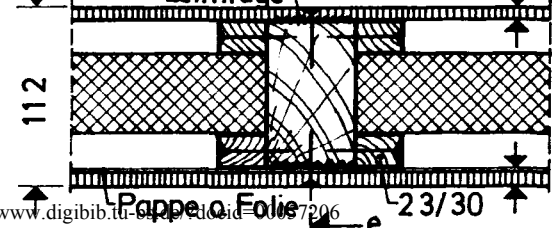
T a f e l 1: Einteilige Stützen aus Brettschichtholz

Nadelholz Güteklasse I DIN 4074, Brettschichtdicke: 2 und 3 cm,
Verbindungs mittel: Resorzinharz und Harnstoffharz-Leim,
Berechnung nach DIN 1052 (Ausgabe 1965)
Knicklänge = Stützenlänge: 365 cm

Abmessungen		Belastung	Feuerwiderstands-dauer	Feuerwiderstands-klasse nach DIN 4102 Ausgabe Febr. 1970
F	b x h			
cm ²	cm x cm		min	
184	12 x 16	P = P zul	31 30 35 34	F 30
360	12 x 30	P = P zul	43	F 30
196	14 x 14	P = 0,5. P zul	36 43	F 30
336	14 x 24	P = P zul	35 32	F 30
420	14 x 30	P = P zul	39	F 30
		P = 0,5. P zul	59 53	F 30
560	14 x 40	P = P zul	43	F 30
256	16 x 16	P = P zul	31 37	F 30
480	16 x 30	P = P zul	40 52 45	F 30
400	20 x 20	P = P zul	34 48 42 43	F 30
		P = 0,5. P zul	64 61 60 52	F 30
576	24 x 24	P = P zul	60 56	F 30
676	26 x 26	P = P zul	62 62	F 60 +)
729	27 x 27	P = P zul	57 54 59 56	F 30
784	28 x 28	P = P zul	59 67	F 30

Fußnote zu Tafel 1:

- +) Die Einreihung des Querschnitts 26 cm x 26 cm in die Feuerwiderstandsklasse F 60 kann vorerst nur unter Vorbehalt erfolgen, da die Feuerwiderstandsdauern der größeren Querschnitte 27 cm x 27 cm und 28 cm x 28 cm teilweise unter 60 Minuten liegen. Es wird vermutet, daß das frühzeitige Versagen der beiden letztgenannten Querschnitte auf die Art der Herstellung zurückzuführen ist. Durch z.Z. laufende Zusatzversuche soll der Einfluß der Herstellungstechnik auf das Brandverhalten ermittelt werden.

Konstruktion					Bemessung			Zeit in min bis zum		F-Klasse	
Nr.	 Holzspanplatten DIN 68 761  Sperrholzplatten DIN 68 705  Mineralfaserplatten Klasse A	 Stiele Gütekl. II b/h e d mm	nach [1] oder [2] [*] siehe Lit. σ p kp/cm ² kp/m	Verlust der Tragfähigkeit	Durchbrand, Auftreten brennb. Gase o. Überschreiten v. zul. ΔT						
1		d	40/80	585	22	[1]	85	1775	~ 50	46	F 30
2		d			19	(nichttragend)			—	43	
3		d			13	[1]	85	2230	>25 (~35)	25	—
4		d	46/96	602	19	[1]	85	2440	52-55	50-63	F 30
5		d			13	[1]	85	2230	56	56	F 30
6		d	90/90 + 60/90	1160 1160	13	[2]	46 85	2390	~ 46	46	F 30
7		d	46/96 + 36/96	1204 398	10	[1]	85	8000	~ 20	47-49	—
8		d					43	4000	~ 32		F 30
9		d				[2]	85	2400	> 32		
10		d	60/96	483	8	[1]	85	4000	35	52	F 30

<http://www.digibib.tu-berlin.de/ocw/0067206>

20/08/2014

Tafel 3: Nichttragende, versetzbare Trennwände

 Holzspanplatten DIN 68 761

 Asbestzementpl.

*) Herkunftsnachweis s. Anhang

 Mineralfaserplatten

 Asbestplatten

 Mineralfasermatten

 Haken $\alpha \sim 650$

 Sperrholzplatten DIN 68 705

 Heftnägel u. Verleimung mit Kaurit (BASF)

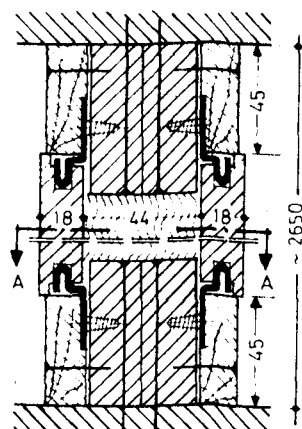
Beisp.

Nr.

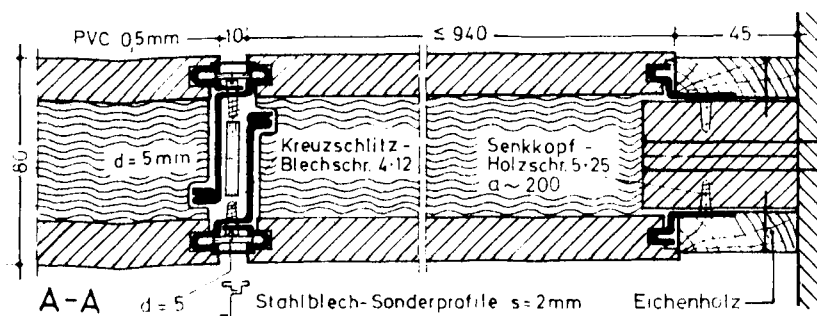
Feuerwid-
dauer
min

Feuerwid-
klasse

1 *)



Maße in mm

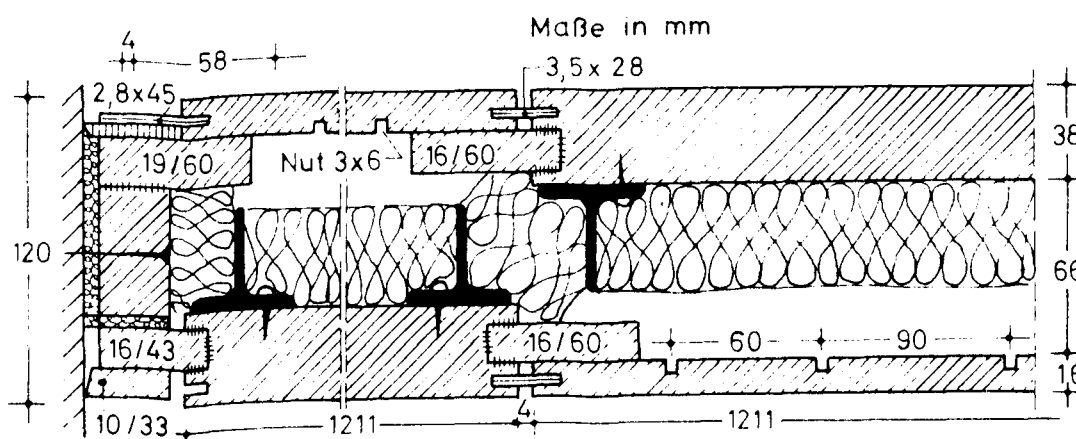
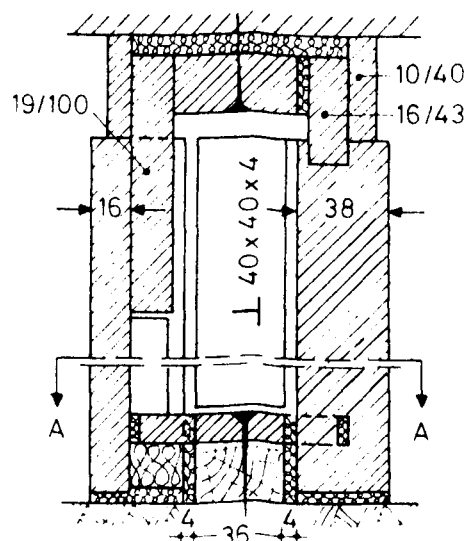


M = 1:3

37

F 30

2 *)

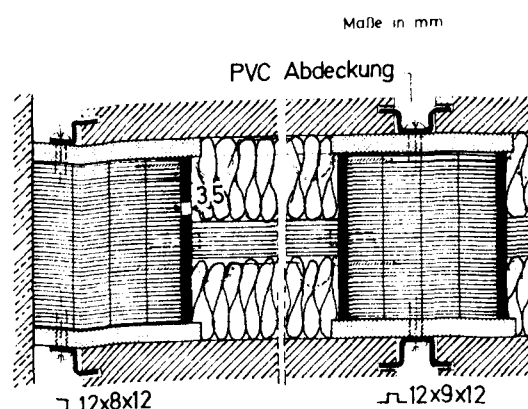
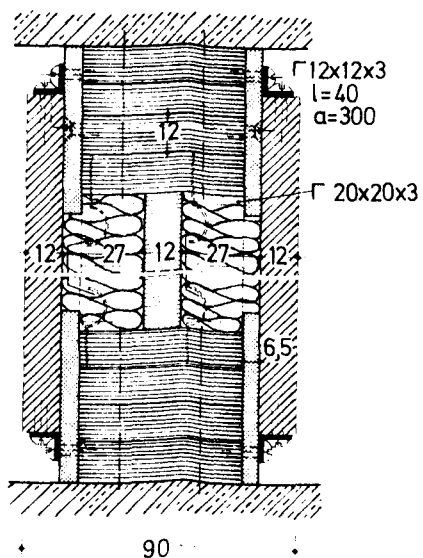


M = 1:3

55-62

F 30

3 *)



M = 1:2,5

98

F 90

T a f e l 4: Brettschichtverleimte Binder mit Rechteckquerschnitt

Nadelholz, Güteklasse II nach DIN 4074 σ vorh. = 110 kp/cm²
Feuerangriff vierseitig.

Abmessungen		Versuchsdauer bei Erreichen der zulässigen Durch- biegungs- geschwindigkeit min	Feuerwider- standsklasse nach DIN 4102 Ausgabe 1970
F	b x h		
cm ²	cm x cm		
350	14,0 x 25,0	41	F 30
	12,0 x 29,2	34	
400	20,0 x 20,0	47	F 30
	16,0 x 25,0	41	
	14,0 x 28,6	44	
	12,0 x 33,4	37	
450	12,0 x 37,5	42	F 30
450	16,0 x 28,1	41	F 30
450	20,0 x 22,5	--	F 30
450	22,0 x 20,5	40	F 30
960	16,0 x 60,0	49	F 30
1200	30,0 x 40,0	74	F 60
	24,0 x 50,0	76	
	20,0 x 60,0	79	
1440	24,0 x 60,0	75	F 60

T a f e l 5: Brettschichtverleimte Binder mit Rechteckquerschnitt

Nadelholz, Güteklasse II nach DIN 4074 $\sigma_{\text{vorh}} = 110 \text{ kp/cm}^2$
 Feuerangriff dreiseitig

Abmessungen		Versuchsdauer bei Erreichen der zulässigen Durch- biegungs- geschwindigkeit	Feuerwider- standsklasse nach DIN 4102 Ausgabe 1970
F	b x h		
cm^2	cm x cm	min	
500	18,0 x 27,8	65 ^{x)}	F 60
	20,0 x 25,0	78	
	25,0 x 20,0	79	
1200	27,5 x 43,6	> 75	F 60

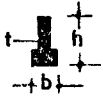
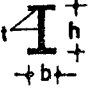
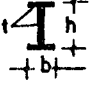
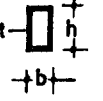
x) Versuchsergebnis ungünstig dadurch beeinflusst, daß Brandbeanspruchung der Balkenoberseite nicht vollkommen ausgeschaltet werden konnte.

**T a f e l 6 : Mindestquerschnitte von Rechteckbalken mit bestimmter
Feuerwiderstandsdauer**

Konstruk- tionsart	Brandbe- anspruchung	Feuerwider- standsklasse	min F (cm ²)	min b (cm)	min h (cm)	max. σ (kp/cm ²)
Vollholz	vierseitig	F 30	450	12	20	100
	dreiseitig	F 30	400	10	18	100
Brettschicht- verleimung	vierseitig	F 30	400	10	18	110
	vierseitig	F 60	1000	20	30	110
	dreiseitig	F 30	350	10	18	110
	dreiseitig	F 60	450	16	20	110

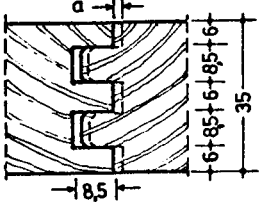
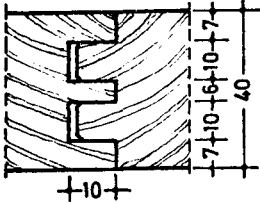
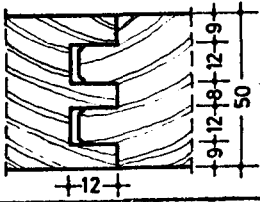
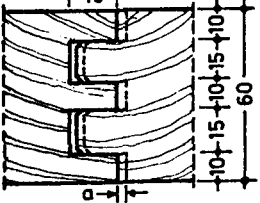
T a f e l 7: Brettschichtverleimte Binder mit zusammengesetzten Querschnitten

Nadelholz, Güteklasse II nach DIN 4074
 $\sigma_{vorh} = 110 \text{ bzw. } 100 \text{ kp/cm}^2$
 Feuerangriff von unten und seitlich

Querschnitt	h	b	t	F	Feuerwiderstands-dauer	Feuerwiderstands-klasse
	60	26	16	1120	56	F 30
		24	6	792	21	-
		26	8	912	34	F 30
		24	6	1008	38	F 30

T a f e l 9: Deckenschalungen

Nadelholz, Güteklasse II nach DIN 4074

Schnitt	Fugenbreite a	Feuerwiderstands- dauer klasse nach DIN 4102 Bl. 2 (1970)	
		min	-
	<p>1 - 1,5</p> <p>0</p>	<p>16</p> <p>31</p>	<p>-</p> <p>F 30</p>
	<p>0</p>	<p>50</p>	<p>F 30</p>
	<p>0</p>	<p>65</p>	<p>F 30</p>
	<p>1 - 1,5</p> <p>0</p>	<p>34</p> <p>> 56</p>	<p>F 30</p>

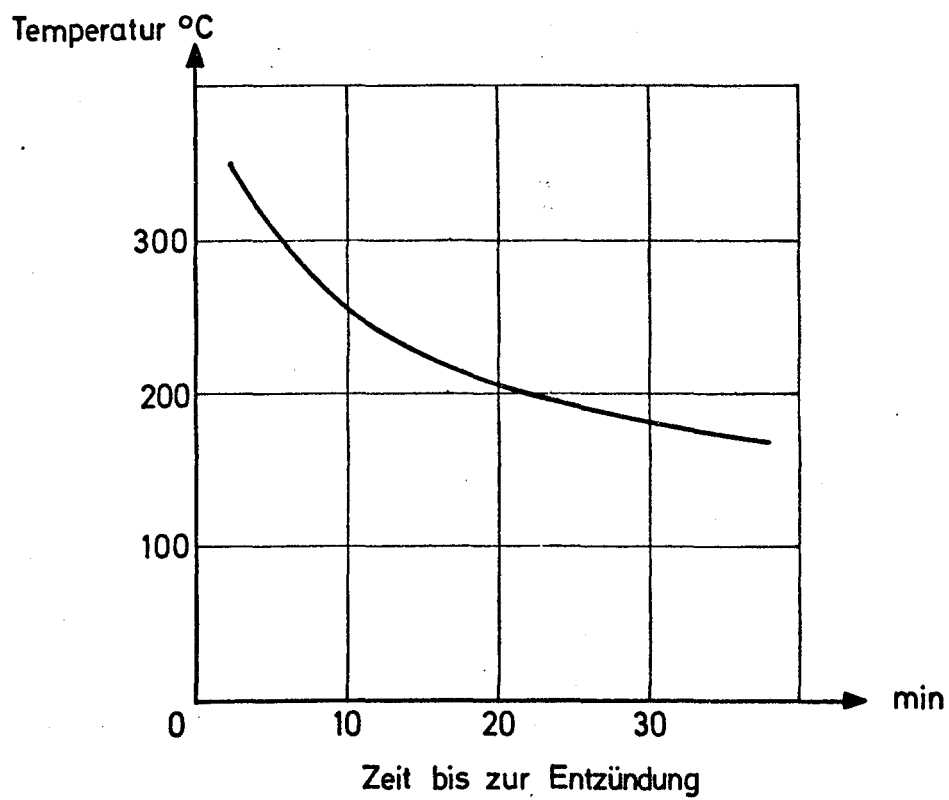


Bild 1 : Zeitabhängigkeit der Entzündungstemperatur von Holz

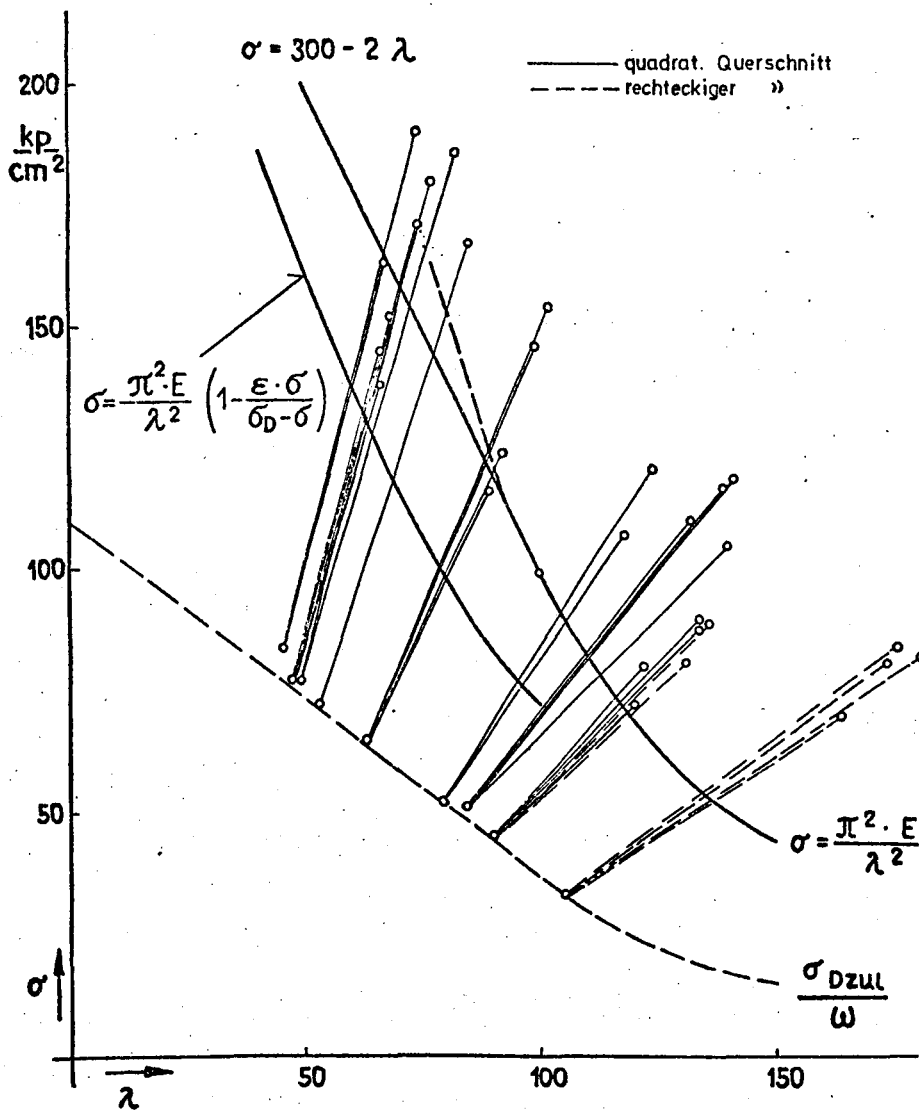


Bild 2 : Veränderung des Schlankheitsgrades und der
 Druckspannungen von Holzstützen während des
 Brandversuches vom Gebrauchszustand bis zum
 Bruch.

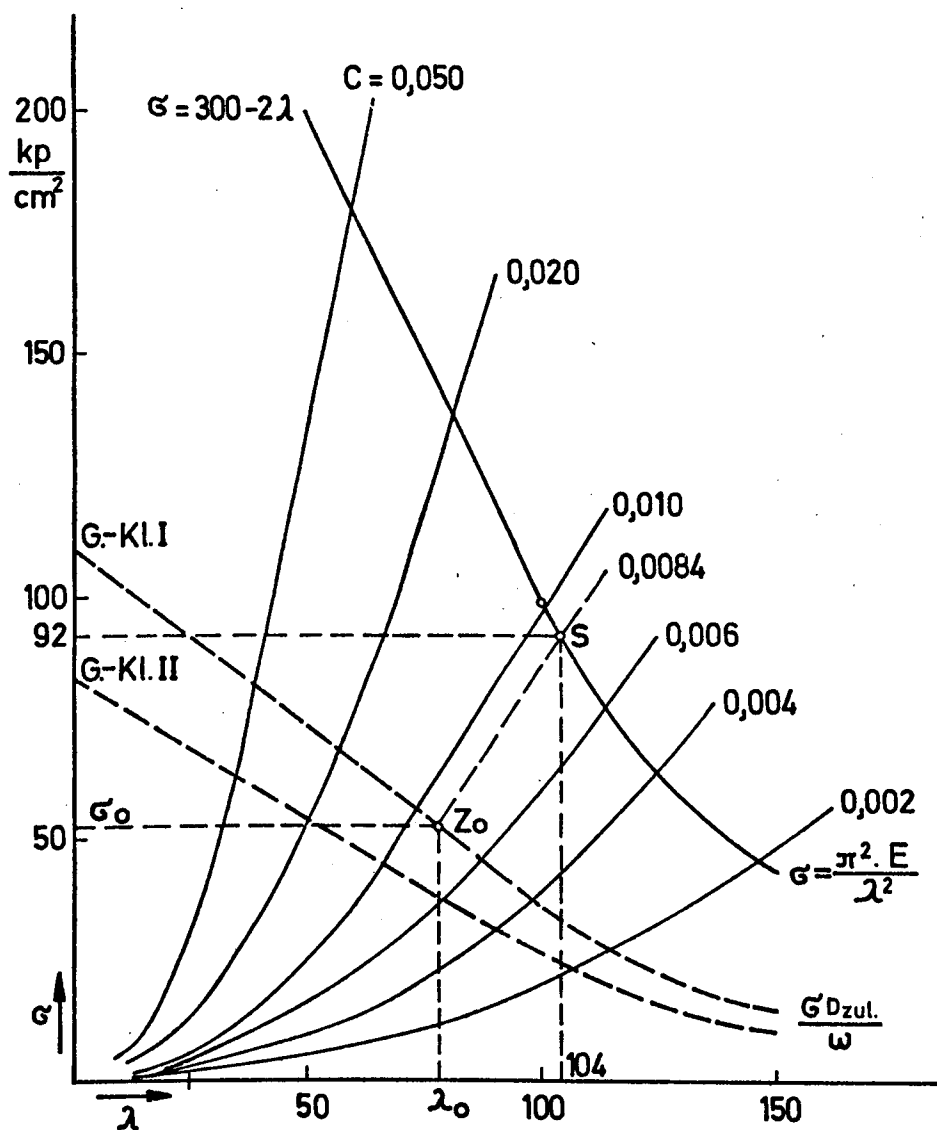


Bild 3 :

Zunahme der Druckspannung während des Brandes
in Abhängigkeit vom Schlankheitsgrad bei ver-
schiedenen Werten von $C = \frac{P}{12 l^2}$

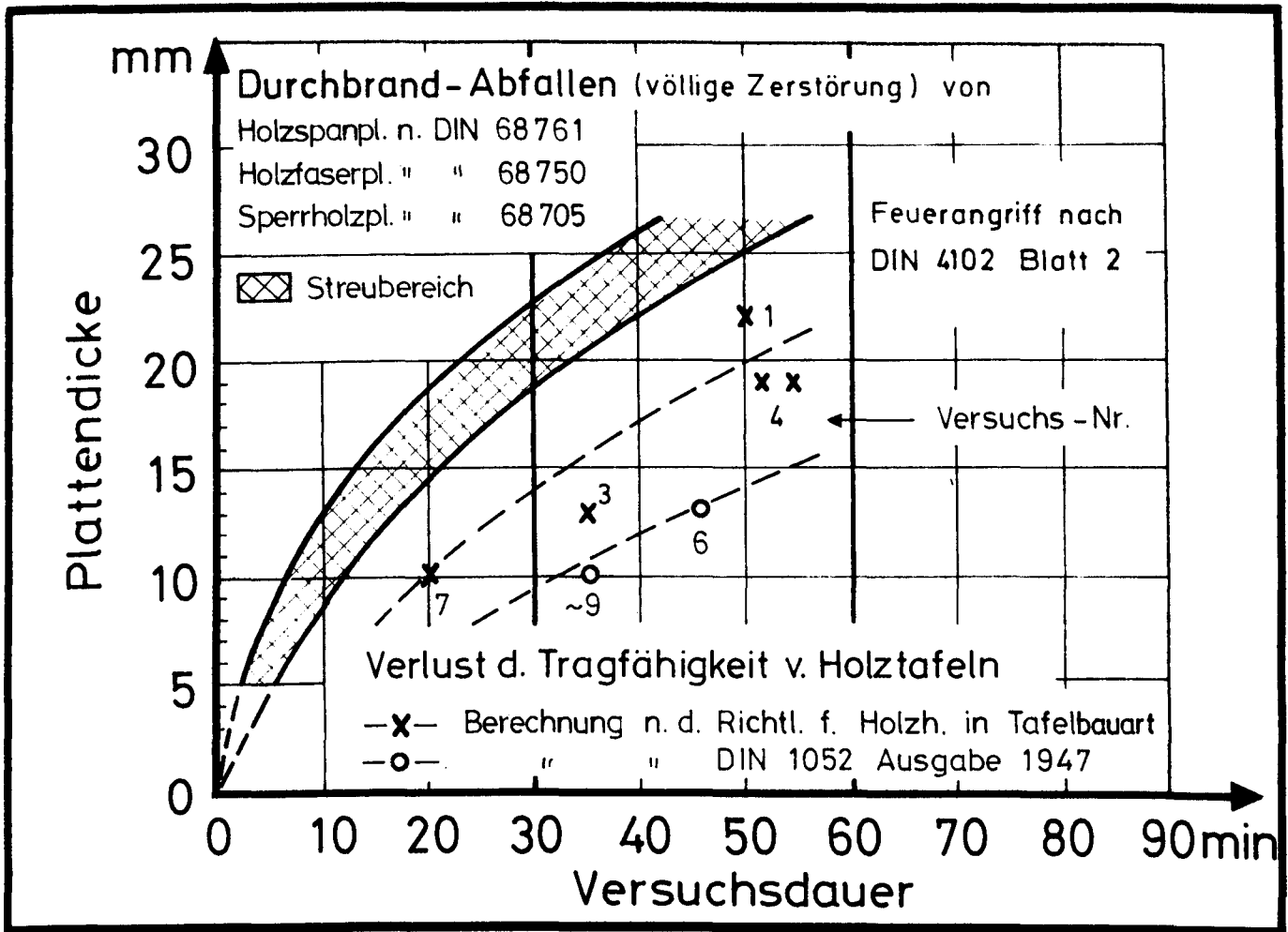


Bild 4: Feuerwiderstand von unbehandelten Verkleidungen;
 Tragfähigkeit von Holztafeln nach Tafel 2

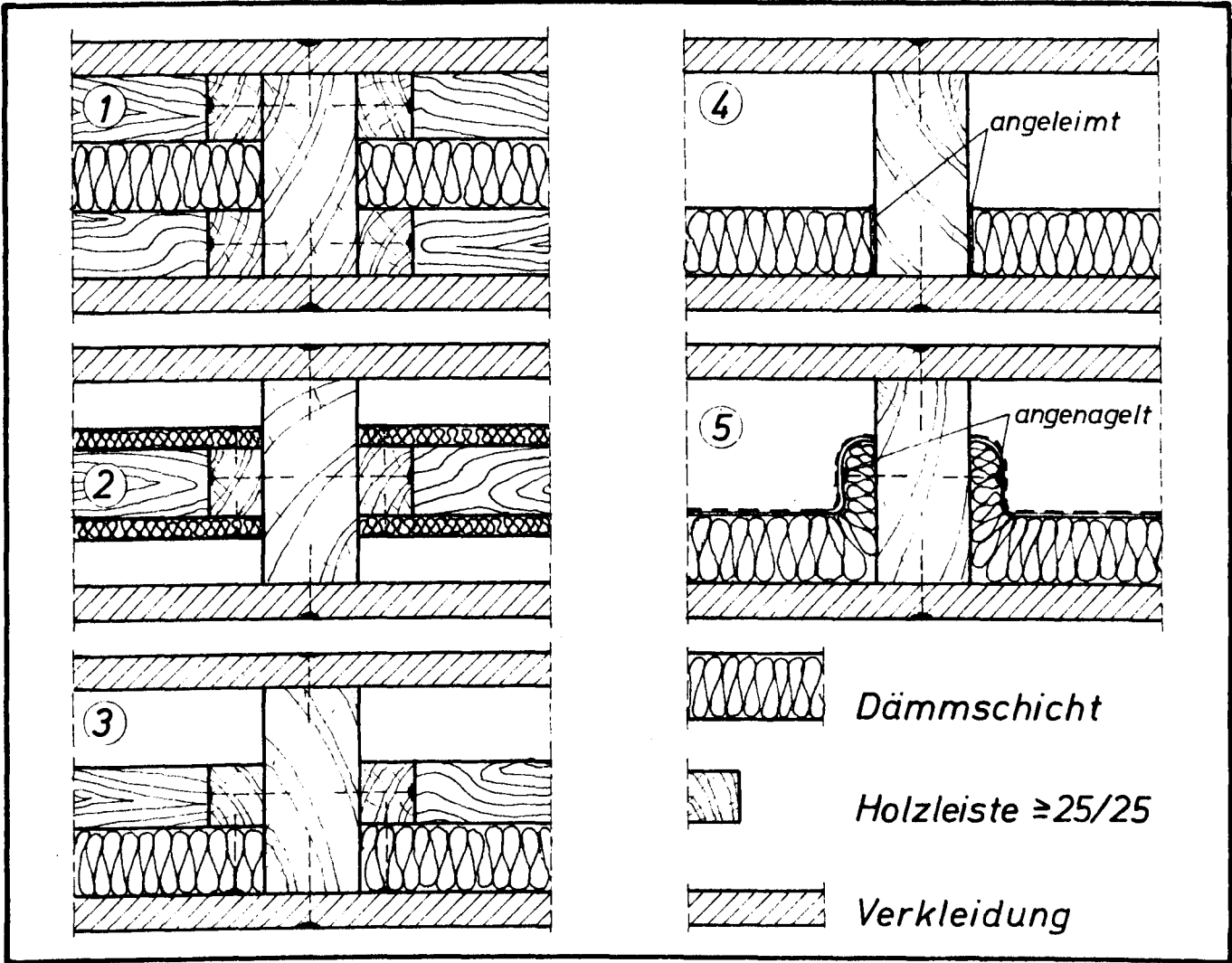


Bild 5 : Dämmschicht - Befestigungsarten

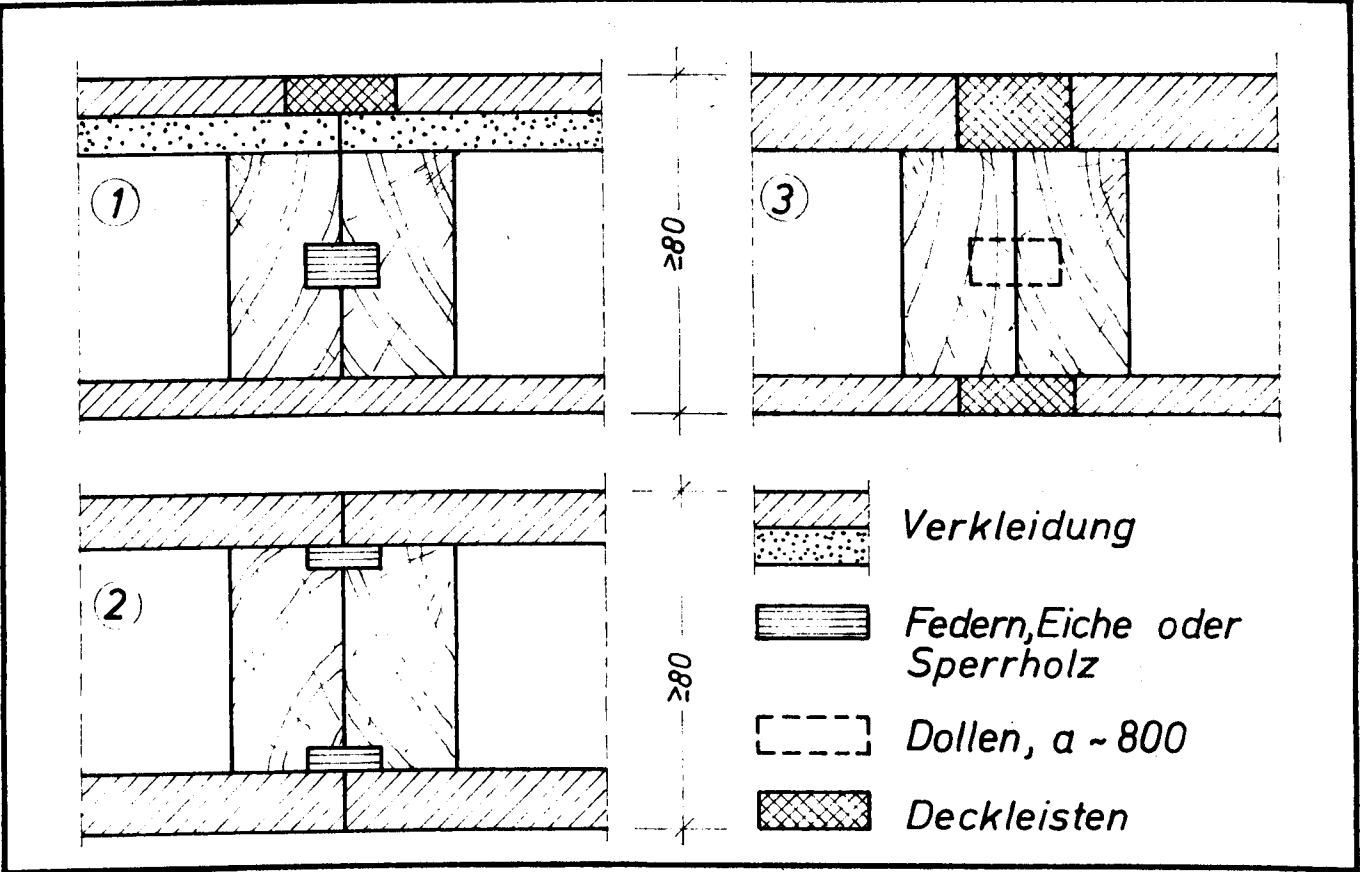


Bild 6: Fugenkonstruktionen von Wänden für Holzhäuser in Tafelbauart

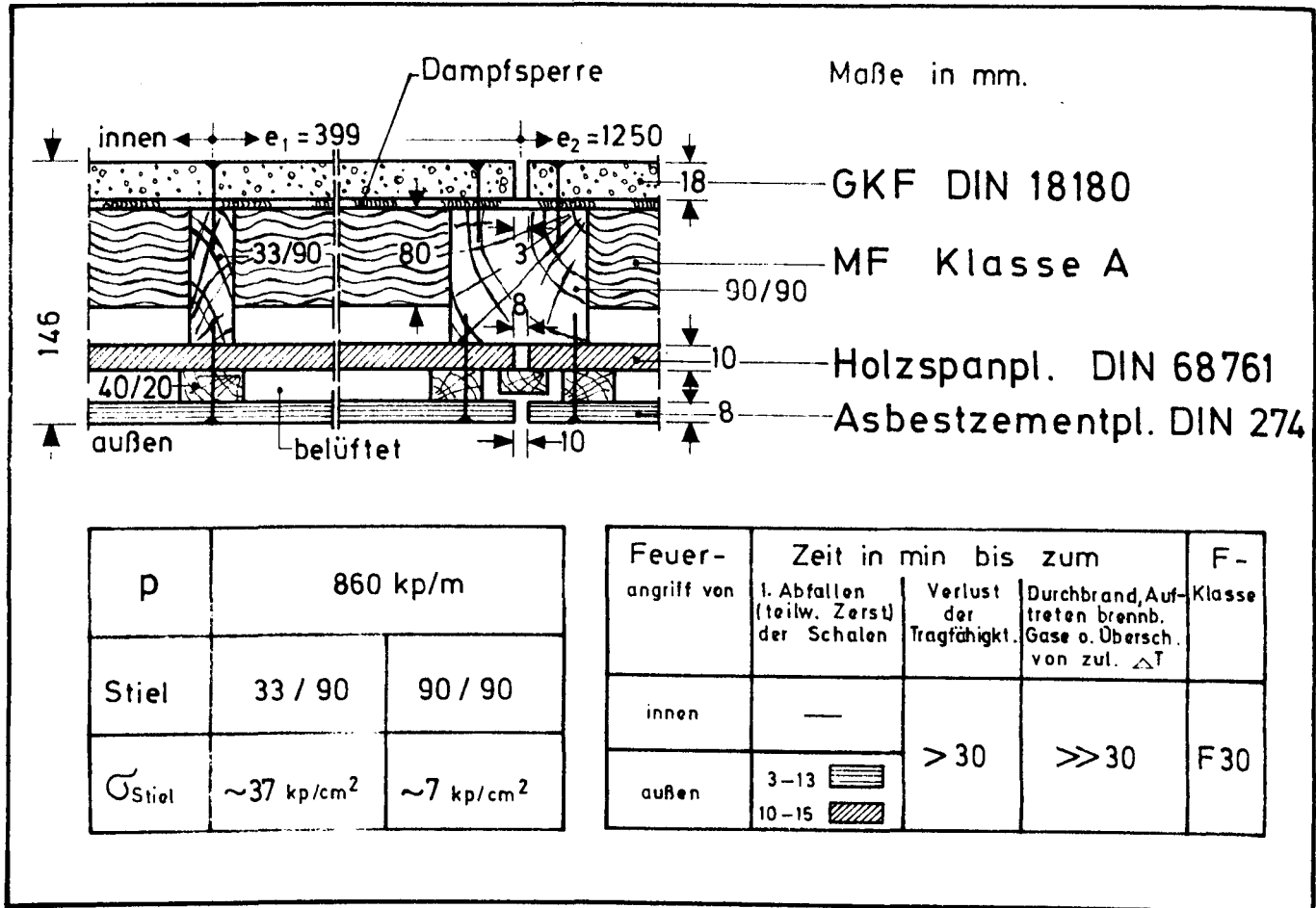


Bild 7: Tragende, belüftete Außenwand für Holzhäuser in Tafelbauart ;
Berechnung nach DIN 1052